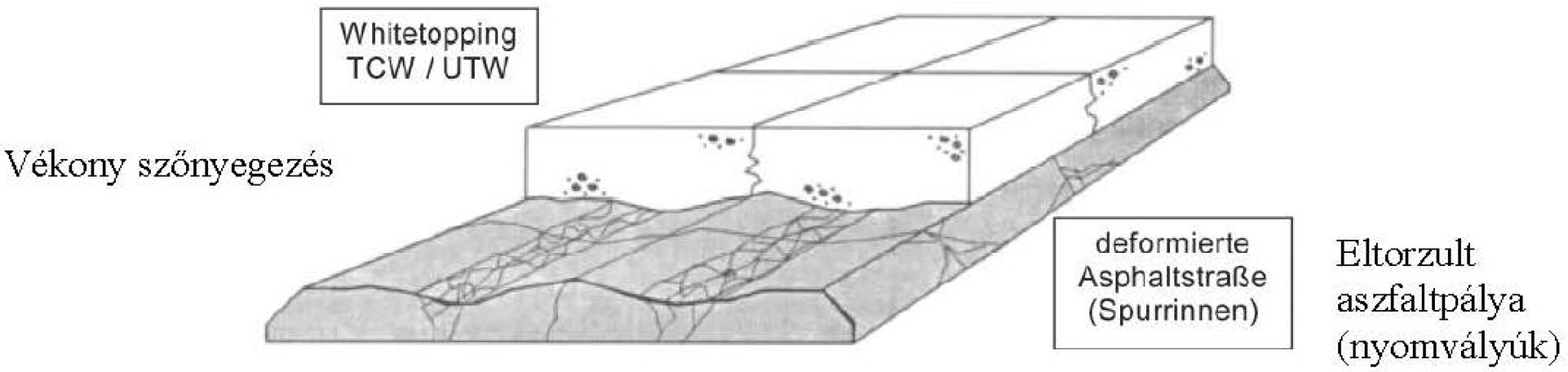
WHITE TOPPING
Újfejlesztésű építési módszer: Vékonybeton szőnyegezés
(Dr. Erdélyi Attila szakirodalmi adatgyűjtése)

1. Általános helyzet (Betonút Kongresszus, Brüsszel, 2006), Riffel, S. (Heidelbergi Cementművek) [1.]

A közúti forgalom minden előrejelzést meghaladóan nő, sem a kormány, sem a városok nem győzik felújítani a hálózatot, egyre romlik a helyzet. *Az USA-ban kitalált vékonybeton szőnyegezés autópályára, másféle utakra, parkolókba, repülőtéri burkolatokra egyaránt alkalmas*, különösen ott, ahol a nagy keréknyomás és a fékezési és indítási (vízszintes) erők egyrészt nyomvályúkat, másrészt keresztirányú hullámosságot okoznak („mosódeszka"), (1. ábra).



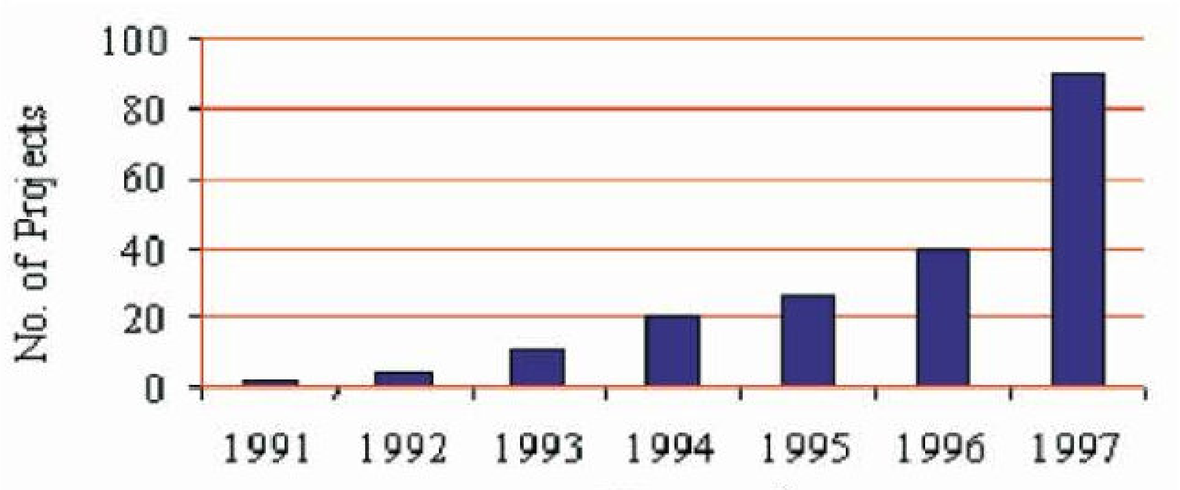
1. ábra

Németországban először a Heidelberger AG alkalmazta e módszert 2004-ben. A betonszőnyegezés legnagyobb előnye a gyorsaság. *Ha az aszfaltpálya (egy bizonyos rétege)* és az *ágyazó réteg ép, akkor ez a leggazdaságosabb megoldás.* Amióta a fotókatalikus, a levegőben lévő szennyezést megkötő cementeket kitalálták, Németországban fogják először a szennyezést elnyelő vékonybeton szőnyegezést kipróbálni.

Fogalmak:

1. *Vékonybeton* (TWT-= **t**hin **w**hite **t**opping vagy TCW = **t**hin **c**omposite vagy **c**oncrete **w**hitetopping) 100-200 mm vastag, az aszfaltpályához *általában* erőtátadóan tapad. 1991 óta az USA-ban már 200 helyen készült UTW szőnyegezés (2. ábra) és a svédek, belgák, franciák is alkalmazzák (3. ábra), Svájcban és Németországban az első kísérleti szakasz 2004-ben készült.

2. *Igen vékony betonszőnyeg* (UTW = **u**ltra **t**hin **w**hitetopping) 50-100 mm vastag és ezt *mindig az aszfalthoz tapadóan kell készíteni*. A maradó, a bemarás után ép aszfaltréteg *legalább* 75 mm-es legyen. *Csak olyankor szabad szőnyegezni*, ha az aszfalt és aljzata az alaprétegek megfelelő teherbírásúak: ezt előtte fel kell tárni (rétegek állapota, mérések). Csak városi, kisebb terhelésű szakaszokon próbálták ki.



2. ábra

Útkereszteződés Belgiumban

3. ábra

USA tapasztalatok szerint a betonszőnyeg élettartama 30 év. A főleg városi alkalmazások után a mostani nagyszilárdságú, nagy teljesítőképességű (NSZ-NT) betonokkal, az új betonkészítési eljárásokkal egész útpályákat lehet így felújítani. Gondosan mérlegelendők az alábbiak: anyagkiválasztás, tervezési változatok, technológia, helyszíni ellenőrzés, szakmunka várható minősége. Svájcban és Németországban 2004-ben fejezték be az első aszfalthoz tapadó igen vékony UTW szőnyegezéseket.

Néhány már megvalósult vékonybeton szőnyeg és a tapasztalatok:

2. Vékonybeton szőnyegezés Németországban

„Whitetopping"- (betonszőnyegezés)- szokatlan módszer-e az aszfalt utak felújításához? A wetzlar-i kísérleti szakasz

Riffel S (Németország) *Betonstrassen* , 2005- Österreichische Betonstrassentagung 2005, 40-45. oldal [2.]

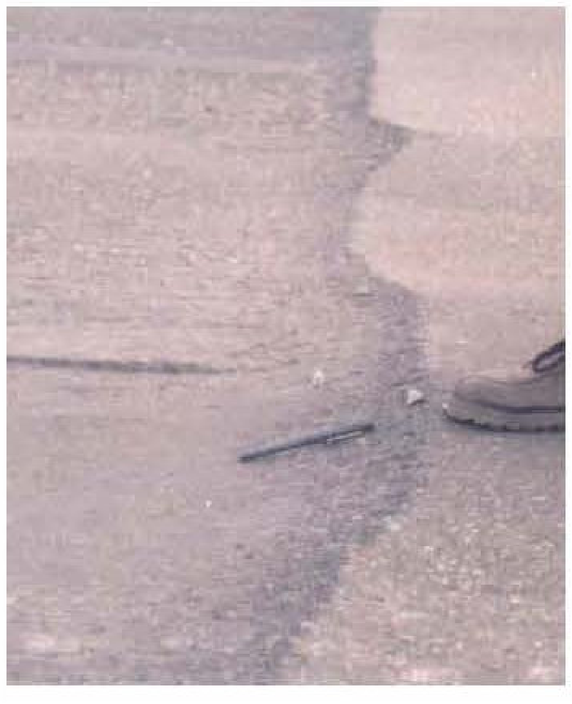
Általában az 1. ábra szerinti **nyomvályúk eltüntetésére** szolgáló betonszőnyegek:

1. *vékony*, 10-20 cm, *általában* tapadó kapcsolattal az aszfalthoz ("TCW")
2. *ultravékony* 5-10 cm („UTW") *mindenképpen* csak tapadó kapcsolattal; maradó aszfalt vastagság > 75 mm

Építési szabályok ("technika")

- a kátyúk aszfalttal vagy zúzottkővel kitöltendők
- a gyenge alépítményt (alsó rétegeket) ki kell cserélni
- marással, nagy nyomású vízsugárral vagy golyó (sörét) szórással az aszfaltot fel kell durvítani (4. ábra)
- a lemarás 20-100 mm-nyi legyen, ha a rétegvastagság engedi
- minden laza részt végül el kell távolítani porszívóval, lemosással
- forró időjáráskor az aszfaltot elő kell hűteni páraszóróval, lemosással
- 45 °C fölötti aszfalthőmérséklet esetén mindenképpen vízhűtés vagy folyós cementpép felterítése kell
- betonozás előtt a felület azonban már *matt-száraz* legyen, tócsák ne legyenek
- ha az aszfaltfelület > 1 napig szőnyegezés nélkül állt, *újra kell tisztítani* és ehhez csak olajmentes sűrített levegő jó!

Bal oldalon: nyomvályú



Jobb oldalon: a már lemart aszfalt

4. ábra

Betonozás:

- 4 féle módon, pl. csúszózsalus vagy STRIKER stb. típusú gépekkel – vagy kézzel, zsaluk között stb. (5. ábra)
- kézi vezérléskor is lézervezérlésű *simító vagy tömörítőtag* kell, – a lapvibrátorok alkalmatlanok.
- a betont a legvékonyabb esetre kell méretezni (1. ábra) bár általában előbb az aszfaltot síkba lemarják.
- a konzisztencia tűrése ±2 cm (terülés) lehet
- két egymás mellettisáv egyszerre való beépítése célszerű – ha nem, akkor > 36 óra időkülönbséggel kell a sávokat betonozni.

5. ábra

Fúgák:

Könnyű („soft-cut") eszközt kell használni, a lehető legkorábban. Igen sűrű hézagkiosztás javasolható, $L \leq (12-15) \cdot v_{beton}$,

UTW esetére, pl. 0,60-1,85 m kereszt hézagkiosztás 75 mm-es (!) UTW esetén max. 1:1,5 oldalarány, ill. 0,9-1,25 m^2-es tábla célszerű.

Fúgamélység: UTW **tágulási hézag** ≥ v/4; **munkahézag** (PF) ≥ 6 mm és **szélesség** ≥ 3 mm.

Fúgakitöltésre UTW-nél nincs szükség.

Utókezelés/felületi textúra:

A (német) „TL NBM- STB 96" szerinti párazáróból kétszeres mennyiség kell (250-300 g/m^2). Száraz meleg időben (> 30 °C) külön 1-3 napos *nedvestartás is* kell, amint a párazáró megszáradt, +7°C *alatt hőszigetelő* terítés kell.

A felületkiképzés – textúrázás – további részleteit itt nem taglaljuk (seprűs, fésűs, jutavásznak, mosott stb.)

Forgalomráengedés

≥ 26 N/mm^2 kockaszilárdság esetén lehet.

Alkalmazási területek:

Példák a helyszínekre: kereszteződések, jelzőlámpáknál, parkolók a német RSTO szerint II-VI. oszt. utak stb.

A wetzlar-i cementgyári próbaszakasz:

250 m^2 készült 6 féle módon: **„Ferroplan"** kétféle „TCW" és hárómféle „UTW". A 6. és 7. ábra szerinti (hálóval vasalt módszer) 45 mm-es beton 1 nap múlva 50 N/mm^2, 28 nap múlva 110 N/mm^2, E = 44 kN/mm^2, fagyálló beton volt. (CDF módszer)

6. ábra

7. ábra

A TCW/UTW receptúrája:

a) 10 cm **UTW** 31 m^2 7,5 kg /m^3
15 m^2 15 kg /m^3
~50 m^2 30 kg/m^3

„Edelstahl" (rozsdamentes) 30mm-es acélszállal, + mindegyik 1 kg/m^3 PP szállal.
A beton 15 cm vastag lemart aszfaltra készült, többnyire tapadó híd nélkül.

b) **TCW** (14 cm) 25, ill. 80 m^2, 7,5, ill. 15 kg/m^3 acélszállal, 11 cm vastag lemart aszfalton.

A nagyobb *acélszáladagolás* (15 - 30 kg/m^3) *nem növelte* a szilárdságokat (nyomó, hajlító)
A fúgákat (18 – 22)·v_{beton} távolságokban vágták be, és forró fúgakittel tömítették. (Tehát *mégis* tömítenek) A mérlegplató stb. körül tágulási hézagot készítenek. (8. ábra)

Dr. Erdélyi Attila szakirodalmi adatgyűjtése: White Topping. Vékonybeton szőnyegezés

Tágulási hézag a gyári mérlegplató körül
8. ábra

Németországi recept (példa) [3.]:

A beton C30/37-XF4-XM2 (kopási osztály) és 420 kg/m^3 CEM I 42,5 R, d_{max}= 16 mm-s folyami homokkal és kemény kőzúzalékkal, v/c = 0,38, 5±1 térfogat% légbuborék tartalmú, F3 = 42-48 cm terülésű, folyósító és LP-szerrel készül, továbbá vegyes szálakkal, ennek összetétele PP (ℓ = 12 mm) 1 kg és rozsdamentes „Fibraflex" acélrostokkal, 7,5-15-30 kg/m^3 (helyszíne válogatja) adagolással (ℓ = 30 mm). A próbaterület a wetzlar-i cementgyárban volt. A táblahosszak 18-22-szerese a vastagságnak, a hézagokat forró tömítővel öntötték ki. Semmi más vasalás (tüske, háló) **nem** volt.

Külön 50 m^2-en kipróbálták a 20 cm vastag aszfaltra terített 45 mm-es szőnyeget, amelyet folytonosan vasaltak egy különleges, beragasztott csapokra rögzített „FERROPLAN" hálóval. A vasbetétek fölött 0,1 mm-nél keskenyebb repedéseket találtak, - de ezeket nem tömítették, hanem – megfigyelés végett – nyitva hagyták.

Összefoglalás:

A szerző szerint ez egy *gazdaságos* felújítási módszer sok (felsorolt) területen, sérült vagy/és alulméretezett aszfaltburkolathoz,- különösen kereszteződésekben, repülőtéri üzemi területeken (műszaki előterek) autópályákon, főútvonalakon.

E módszer előnyei: *gyors, költségkímélő és tartós.* Ausztriában 12 órás gyorsbetonokat is helyeztek már forgalomba városi építéseknél. [3.]

Ugyanúgy városi és nagy forgalmú csomópontokban is (nyomvályúk, hullámosodás, jelzőlámpák előtt, - fékezés, gyorsítás stb. miatt)

Az Adatgyűjtő megjegyzései a fentiekhez:

1) A vékonybeton szőnyegezéshez sok *helyszíni mintavétel* és *elővizsgálati adat* is tartozik: az alépítmény, az alsóágyazó rétegek teherbírása, vízelvezetése, az aszfaltréteg minősége, E modulusa és vastagsága stb.

2) Az idő- és *helykiválasztás*, forgalomelterelés, lezárás, építési időpont/időjárás a helyi hatósági és kivitelezői szereplőkkel nagyon pontosan egyeztetendő.

3) A felmarás, durvítás, nagynyomású vízsugárlemosás, porszívózás, nedvesítő hűtés, a pépterítés, mint tisztasági réteg („white washing"), szint- és méretellenőrzés stb. *útépítési technológus állandó jelenlétét igényli.*

4) **Vékonybeton/gyorsbeton**
A megvalósításba bele kell érteni a folyósító és légbuborékképző (LP) szert, a PP szálakat (az acélrostokat mellőzni lehetne), az XF4, XM2, [XK(H)] és XD3 kloridhatás, MSZ 4798 szerinti követelményeket (beleértve az 5±1 térfogat% légbuborék tartalmat) s ezzel összhangban, **elvileg** ugyancsak a C30/37 követelményt, de *ezt bőven túl kell teljesíteni a gyors forgalomátadás érdekében*. (pl. itt az UTW–hez 40 N/mm^2 1 napos kockaszilárdságot említenek!)

5) A hazai betontechnológia *laborszinten* bizonyítottan teljesíteni tudja ezeket. A nehezebb feladat a *helyszíni teendők*: a szervezés, szállítás, fogadás, helyszíni méretellenőrzés, betonellenőrzés, utókezelés, hézagvágás stb. gondos előkészítése és végrehajtása, forgatókönyv (felelősök, cím/telefonjegyzék)

6) A cikk egy osztrák útbeton konferenciai kiadványban jelent meg, de német *építési példáról* szól.

Forrás:

[1.] Riffel, S.: Betonút Kongresszus, Brüsszel, 2006

[2.] Riffel S (Németország) *Betonstrassen*, 2005- Österreichische Betonstrassentagung 2005, 40-45. oldal

[3.] Klinke, H: Betondecken ím Stadlichen Bereich Betonstrassen 2003. (május. 22.) 40. old

3. Osztrák tapasztalatok: Betonszőnyegezés. Az aszfalthoz csatlakozó felület értékelése (Macht – Tschegg – Jamek – Steigenberger: Betonút Kongresszus, Brüsszel, 2006)

A ma már szokásos vékonybeton szőnyegezés jó működésének és tartósságának alapfeltétele az *aszfalt és betonréteg közti erőt átadó kapcsolat minősége*.
A húzó(tapadó) szilárdság a két réteg között kevésbé jellemző, mint az ék-hasító vizsgálat eredménye, amely mechanikai és törésmechanikai jellemzőket ad. Különbözően kezelt, lemart aszfaltfelületeket ellenőriztek e módszerrel. *A tapadóhidak* (cementtej, műanyagdiszperziós cementtej, tiszta műanyagdiszperzió) haszontalanok, lényeges azonban:

a) a marás geometriája (vályúszélesség, bordamagasság), – ennek az adalékanyag d_{max} méretéhez kell igazodnia és
b) a mart felület tökéletes tisztítása (nagynyomású vízsugár stb.)

Az ékhasítás módszerrel kapott vízszintes hasító erőkből számítható ún. „bemetszett gerenda húzószilárdság" – ez a tapadó szilárdsággal rokon, és a repedés megindulás gátlásának mértéke. A fajlagos törési energia is meghatározható, – ebből a repedésmegnyílás rideg vagy szívós volta megállapítható.

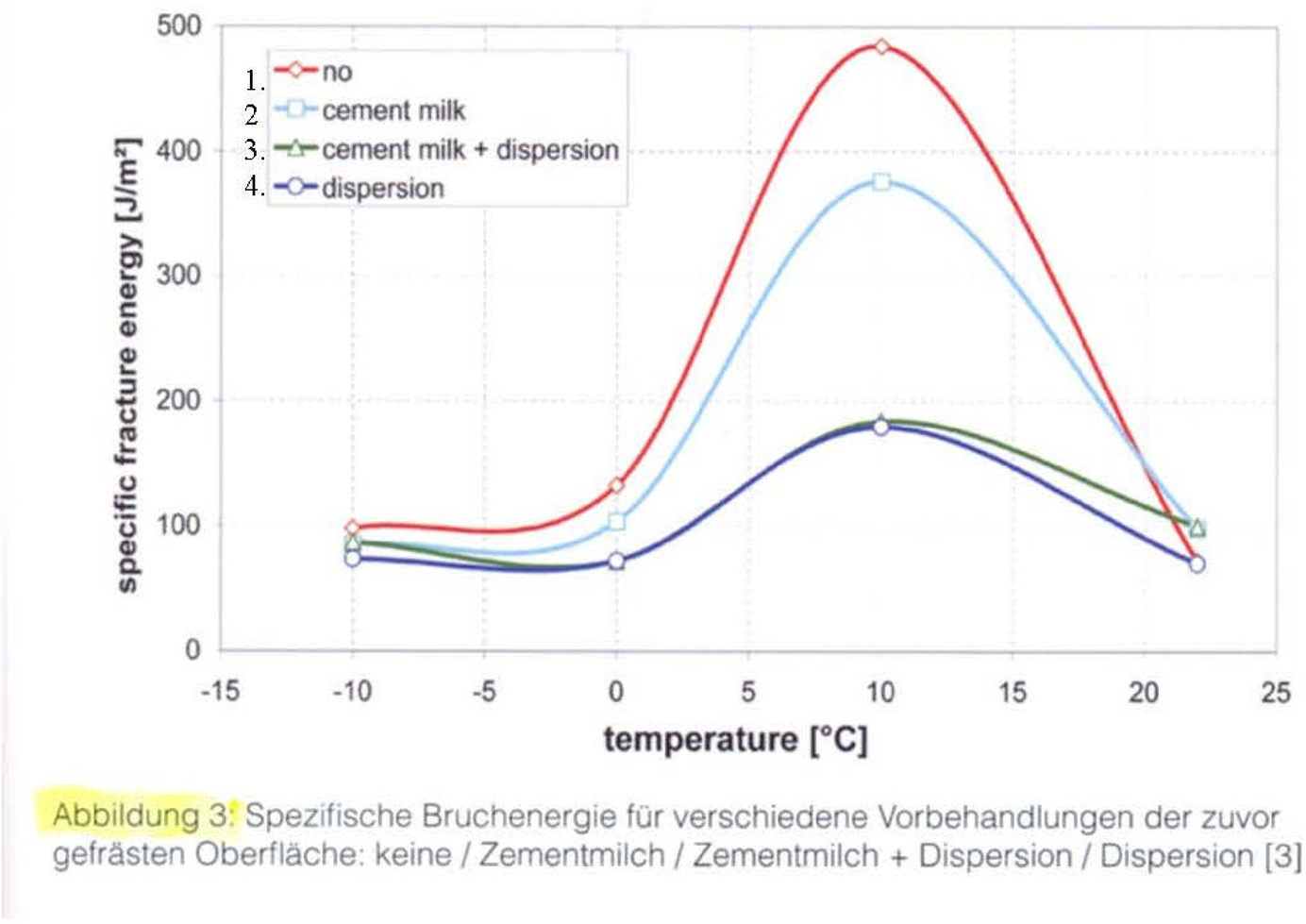


Abbildung 3: Spezifische Bruchenergie für verschiedene Vorbehandlungen der zuvor gefrästen Oberfläche: keine / Zementmilch / Zementmilch + Dispersion / Dispersion [3]

Fajlagos ütőmunka (J/m^2) – hőmérséklet (°C) függvényében, különféle tapadó hidak esetén lemart aszfalt felületen: 1. nincs; 2. cementtej; 3. cementtej + diszperzió; 4. csak diszperzió
9. ábra

Az 9. ábrából látszik, hogy: a *lemart, tisztított* aszfaltfelület és az együttdolgozó vékonybeton szőnyeg közti tapadásra az alábbiak jellemzők:

- *Fajlagos törési energia* 100-500 J/m^2

(Tschegg féle ékhasítós vizsgálat)

- *Rétegek közti tapadószilárdság* 0,8-1,2 N/mm^2
- *Réteghatáron bemetszett próbatestek húzó-hajlítószilárdsága* 0,5-3,5 N/mm^2

Azaz a kísérletek alapján:

- Jó geometriájú lemart, tisztított felület kell, tapadóhíd nélkül;

- A tapadás hőmérséklet függő: nyári melegben, téli hidegben aránylag kedvezőtlen.

Kelet-Ausztriában egy d_{max} = 22 mm-es aszfaltburkolatot lemartak (100 mm maradt), a bordák 8 mm magasak, a vályú közöttük 12 mm széles volt. A már említett felületkezelés után (semmi vagy 3-féle), d_{max} = 8 mm-es, 100 mm vastag betont terítettek (v/c = 0,39). *Az ékelt* hasításhoz a *próbatesteket* fúrt magokból nyerték, és –10 °C, +10 °C, ill. +22 ^{0}C-on *tárolták,* de a vizsgálat maga, szobahőmérsékleten végezhető (néhány perc). Az ékelt hasító szilárdság (N/mm^2) és hőmérséklet összefüggése egészen más, mint *a fajlagos törési energia* (J/m^2) függése. Legszívósabb (repedés gátló) a csatlakozó felület +5 ^{0}C és +15 ^{0}C közt, alatta rideg, fölötte pedig (noha duktilis), nem tudja megakadályozni a repedésmegnyílást. Ezt az ék mellett mérik, a két térfél eltávolodásából, út - adóval.

Ugyanígy minősíthető a régi és új beton felület közti erőkapcsolat. *A legjobb marási kép*, ha a vályúszélesség kb. d_{max}, mert a repedési út hossza ekkor a legnagyobb.
–10 °C alatt az aszfalt ridegsége miatt, a repedés már nem követi a bemarási alakot és a kapcsolat „ridegebb".

Vékonybetonok jellemző összetétele
(Steingenberger, J 2007, Bécs, Útbeton Konferencia)

Jellemző	1997-ben	2006-ban
víz/kötőanyag (v/k)	0,36	0,39
terülés (cm)	39,5	56
testsűrűség frissen (kg/m^3)	2420	2216
légtartalom (térf.%)	1,4	6,5
nyomószilárdság (N/mm^2)		
2 nap	–	28
3 nap	66	35
28 nap	83	52

4. Belga kísérleti vékonybetonos pályaszakaszok
(Debroux, R-Dumont, R, Betonút Kongresszus, Isztambul, 2004)

Négy, egyenként 240 m^2-es kísérleti szakasz épült az N50-es úton: 5 – 6 – 8 – 10 cm betonvastagsággal és fele-fele területarányban 30 kg/m^3 acélszállal, ill. anélkül. A további kísérleti szakaszban az aszfalt felülethez való tapadást még tovább javítani fogják, egyrészt a *marási alakzattal*, másrészt *új bitumenes tapadó réteg* előzetes felhordásával. A táblaméret a vastagságtól függött és aránylag kicsi volt: $L = 13 \cdot v_{beton}$ pl.: 100 mm-hez 1,33 m-t választottak.

3 cm <u>új bitumenes tapadó réteget</u> hordtak föl és így 5 + 3; 6 + 3; 8 + 3, ill. 10 + 3 cm volt az összes lemarás.

A 0/7 mm-es zúzott köves új 3 cm-es bitumenes réteg előtt 200 g/m^2 <u>bitumen emulziót hordtak</u> föl a tisztított, mart felületre majd *az új 3 cm-es aszfaltot szilárdulás után igen gondosan*, 5 mm mélységben felmarták (tapadás) és végül 5,5 – 6,5 – 8,5 – 10,5 (tehát +0,5 cm) <u>betonréteget</u> építettek be finiserrel. A beton felszínt *késleltetővel* beszórták és 50 μm vastag fóliával terítették a hézagokat és elasztomer fúgatömítővel zárták a kísérleti terület *egyik felén*. A beton szilárdsága (időjárástól függően) *1 napos korban* 11-28 N/mm^2 volt és *2 napos korban* 25-50 N/mm^2, ill. *7 napos korban* 37 és 67 N/mm^2. CEM I 52,5-ös (425 kg/m^3) cementtel és ~ 0,42-es v/c-vel dolgoztak, légbuborékképzővel és MB adalékszerekkel (Pozzolith 39iN, Rheobuild).

Ez a vékonybeton megoldás **megszüntette a nehéz jármű miatti *nyomvályúsodást*, és a *fenntartást* lényegesen egyszerűsíti. Az 5 cm-es extra vékony (UTW) burkolat igen jól bevált.**

5. A vékonybeton szőnyegezés svéd filozófiája (SILFWERBRAND, J, Stockholm, Betonkutató Intézet (CBI) Isztambuli Betonút Kongresszus 2004.)

5.1 Áttekintés:

Háromféle: ***beton, aszfalt és vékonybeton szőnyeges útburkolatot hasonlítottak össze*** **és értékeltek (++; +; -) az alábbi szempontok szerint:**

- teherbírás
- központos tehernek való ellenállás
- tartós tehernek való ellenállás
- egyenetlen alátámasztásra érzékeny-e
- hajlítószilárdság
- hajlékonyság nagy hőmérsékleten
- ellenállás kis hőmérsékleten
- kopásállóság
- hézagképzési költségek
- simaság
- súrlódás
- zajkeltés
- üzemanyag fogyasztási hatás
- világosság (optikailag)
- építési költség
- fenntartási költség
- tűzállóság (alagút)
- javíthatóság
- újrahasznosítási lehetőség

Az értékelés eredménye:

- betonútra: 22 (+) és 4 (-)
- aszfaltra: 17 (+) és 7 (-)
- **vékonybetonra: 26 (+) és 1 (-)**

Azonos teherbírású és forgalmú szabványos, (svéd) Stockholm környéki éghajlatra hasonlították össze a pályaszerkezeteket GIPI programmal (Belgium) 3-féle évszakváltozásra és meghatározták az ezekhez tartozó megengedhető tengely-áthaladási számokat: **a vékonybeton volt a legkedvezőbb**.
A vékonybeton szőnyegezés kevéssé említett előnye, hogy *hőszigetelő rétegként védi az alatta levő aszfaltot*:

- ez nyáron nem lesz túl lágy és
- télen nem lesz annyira rideg.

A teherbírása tehát mindkét esetben jobb, mint vékonybeton nélkül volna egyébként. Az *együttdolgozó* (van tapadás) megoldás a jó.

A kistáblás vékonybeton előnye a *könnyebb javíthatóság* (sérülés után kisebb táblát kell cserélni, nincs hézagtömítés: az esetek többségében *üres vakhézagokat* alkalmaznak)
A szokásos *betonszilárdság* K80 (küszöbérték 15 cm élhosszúságú kockán, N/mm^2), esetleg acélszállal készül.

A siker feltételei:

1. a maradó aszfaltréteg elegendően *vastag* és *teherbíró* legyen ($v \geq 100$ mm, de általában 150 mm)
2. Az aszfalt felszínét *tökéletesen le kell tisztítani* (jó tapadás)
3. *A betonréteg ne legyen túl vékony* (az USA-ban „ultra-vékonynak" – UTW-nevezik a v = 100 mm-nél vékonyabb betonszőnyeget)
4. A hézagok távolságát *(táblaméretet) korlátozni kell.*

A svéd tapasztalat szerint:

- aszfaltréteg $v \geq 150$ mm
- betonréteg $v \geq 70$ mm

L (táblaméret) $\leq$ *20* v_{beton}, noha a kísérletek szerint L = $50 \cdot v_{beton}$ esetén sem keletkezhetnek vadrepedések vagy egyéb károk.
A vékonybeton szőnyeges pályaszerkezet *kevésbé hőmérséklet érzékeny* (akár hideg, akár meleg időben történik a betonozás). A táblahézag ugyan sok, de ezeket *nem kell tüskézni.*
Ára (építési költség) a betonénál kisebb, az aszfalténál nagyobb.

Közlekedési terhekből származó feszültségek számításához használt anyagjellemzők (Svédország)*

Anyag	Vastagság (mm)	E (kN/mm^2)	Poisson tényező
Beton	50-100	33-38,5	0,2
Aszfalt	100-200	1-10	0,35-0,40
Kavics	600	015	0,35
Agyag	–	0,05	0,35

*A svéd technológiai utasításhoz tartozó ábrákhoz, értékekhez használt számadatok. (lásd későbbi fejezet).

5.2 *Svéd technológiai utasítás (ajánlás) beton szőnyegezéshez*

Ajánlás a svéd kísérleti szakaszok tapasztalatai alapján

Silfwerbrand, Johan: CBI report 1:95, Stockholm

Ajánlások

Az alábbi ajánlásokat kísérleti építések előzték meg és a feszültségek számításán, valamint amerikai tapasztalatokon alapulnak. A főbb fejezetek:

1. A régi aszfalt feltárása a beavatkozás előtt
2. A fehérbeton (white-topping) szőnyegezés tervezése
3. Kivitelezés
4. Minőség-ellenőrzés
5. Gyorsbeton pályaépítéssel kapcsolatos meggondolások
6. Nagy hézagtartalmú aszfaltrétegek telítése nagyszilárdságú cementhabarccsal

Az ajánlások dőlt betűsek, az egyéb megjegyzések állóbetűsek.

5.2.1 A régi aszfalt feltárása a beavatkozás előtt

1.1. A régi aszfaltburkolat teherbíró képességét és vastagságát a beavatkozás előtt meg kell mérni, ill. állapítani.

1.2. Az aszfaltréteg vagy rétegek vastagsága a lemarás után legalább 150 mm legyen.

Ha a teherbírás túl kicsi, akkor nő annak a kockázata, hogy a felhordott betonburkolat megreped, esetleg már az első téli fagy okozta felemelkedés miatt. A vékony szőnyegezés feladata a nyomvályúsodás megszüntetése és nem a burkolat teherbírásának növelése. Az ejtősúlyos lehajtás mérés jól használható, de a helyi hatóságok hibakatalógusa is használható.

A lemarási vastagság általában 20 mm-nél több, így a javítandó aszfaltburkolat legalább 170 mm vastag legyen. A szőnyegezett burkolat kompozit szerkezetként működik. Az aszfalt vastagságát magfúrással lehet megállapítani.

5.2.2 **A fehérbeton szőnyegezés tervezése**

5.2.2.1 *A tervező vegye figyelembe a közlekedési, a hőmérséklet okozta és a zsugorodási feszültségeket, a hőmérsékleti kihajlást (kivetődést) a hézagoknál a teherátadás hatékonyságát és a betonréteg kopási ellenállását a hézagok kiosztását, a beton szilárdságát, az acélszál tartalmat és az adalékanyag minőségét.*

5.2.2.2 *Közepes forgalmi terheléshez a nagyszilárdságú betonszőnyeg legalább 70 mm-es legyen. A hézagtávolság és a betonvastagság aránya legfeljebb 20 legyen.*

A tervezőnek ismernie kell a tengelyterheket, a különböző burkolati, alapozó és altalaj rétegek teherbírását (vastagság és merevség). A kifáradás is figyelembe vehető a napi áthaladások, a nehéz járművek százalékaránya és a tervezett élettartam ismeretében. A hőmérsékletkülönbség okozta feszültségek számításához ismerni kell a hőfok gradiensek nagyságát és tartósságát. A kísérleti szakaszt a fentiek figyelembevételével tervezték. 80 N/mm^2 nyomószilárdságú beton elegendő. Acélszálak adagolása ugyan nem mindenképpen szükséges, - viszont a szálak csökkentik a véletlenszerű repedések kockázatát,- amely a beton és az aszfalt közötti helyenkénti gyenge tapadásból adódik. Nagy, nehéz forgalom esetén a betonszőnyeg vastagsága legalább 80-90 mm legyen.

5.2.3 **Kivitelezés**

5.2.3.1 Az utat vagy egy sávot a forgalom elől el kell zárni.

5.2.3.2Ha az aszfaltréteg helyenként túl vékony, ezekre a helyekre kiigazító új aszfaltot kell tenni.

5.2.3.3 Az egész aszfaltfelületet le kell marni a jó tapadás érdekében.

5.2.3.4 A lemart aszfaltfelületet meg kell tisztítani. Ha olaj vagy efféle szennyezés került a lemart aszfaltra, ezt nedvszívó anyagokkal fel kell itatni és vízzel le kell tisztítani.

5.2.3.5 A betonréteget csúszózsaluk közt kell készíteni.

5.2.3.6 A betonszőnyeget rögtön a burkolatképzés után utókezelni kell. Erre különösen ügyelni kell meleg, száraz és szeles időben.

5.2.3.7 A hézagbevágást a kellő időben kell megkezdeni.

5.2.3.8 Hézagvágáshoz ***vékony*** *vágókorongok használandók. Elegendő vágóberendezés legyen kéznél, hogy hiba esetén azonnali pótlást eszközölhessenek.*

5.2.3.9 A bevágási mélység a betonszőnyeg 1/3-a legyen. A hézag szélessége ne legyen 3 mm-nél több.

5.2.3.10 Aszfaltkiegészítő rámpa építendő a sima csatlakozások érdekében.
5.2.3.11 A forgalom átadásának időpontja az elegendő betonszilárdságtól függ.

Az utókezelés módja időjárástól függően az alábbi:

- 0-10 °C között a párazáró szerrel való permetezés elegendő.

Ennél melegebb időben a párazáró szeren kívül műanyag fóliákkal való takarás vagy vízpermetezés szükséges. A hézagvágás időpontját a burkolat hőmérsékletének ismerete és a szilárdulás ettől függő mértéke határozza meg. Általában 10-15 N/mm^2 szilárdság szükséges. 25-26 N/mm^2 szilárdság esetében a pályát már át szokták adni, de ezt a tervezéskor figyelembe kell venni: a korai forgalmi terhelés eldöntheti a szőnyegvastagságot.

- Vékony vágókorongok és rövid hézagtávolság esetén a hézagréseket nem kell tömíteni, kitölteni.

5.2.4 <u>Minőségellenőrzés</u>

5.2.4.1 A teherbírás megállapítása a beavatkozás előtt ejtősúlyos lehajlásmérővel.
5.2.4.2 Aszfaltvastagságok megállapítása magmintákkal.
5.2.4.3 A marás ellenőrzése, a lemarási mélységgel együtt.
5.2.4.4 A felület tisztaságának ellenőrzése közvetlenül a szőnyegezés megkezdése előtt.
5.2.4.5 Betontulajdonságok ellenőrzése: légtartalom, száltartalom, konzisztencia (terülés), v/c tényező, nyomó-, és hajlítószilárdság, tartósság.
5.2.4.6 A betonszőnyegben keletkező hőmérsékletek mérése.
*5.2.4.7*A helyszíni beton szilárdulásának ellenőrzése.
5.2.4.8 A betonszőnyeg vastagság ellenőrzése.
5.2.4.9 Az aszfalt és betonszőnyeg között tapadás ellenőrzése magmintákon.
5.2.4.10 Megvizsgálandó, hogy a hézagok megnyíltak-e (átrepedés).
5.2.4.11 Ellenőrizendő, hogy van e repedezés.
5.2.4.12 A síkeltérés, súrlódás, zajelnyelés és kopásállóság mérése, ellenőrzése.

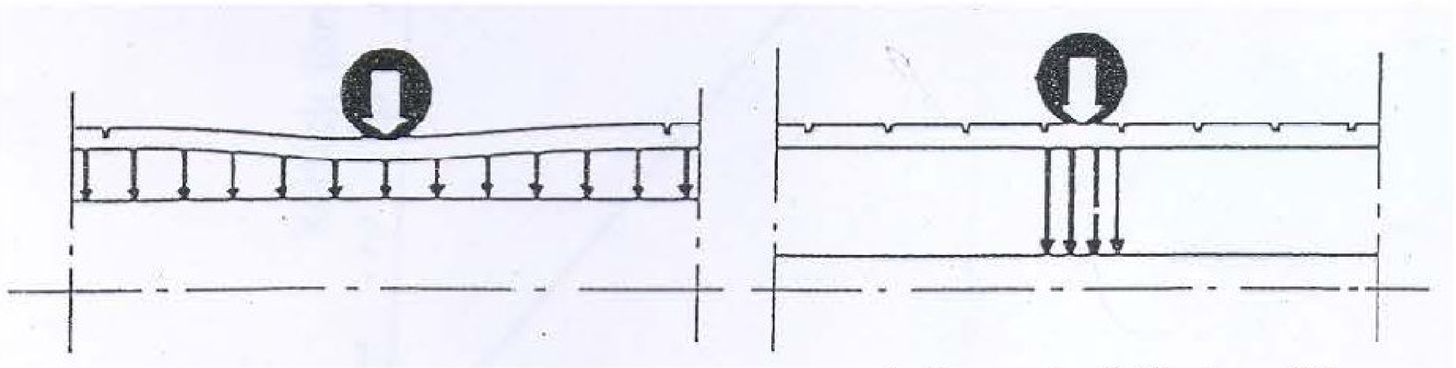
5.2.4 **Gyorsbeton pályaépítéssel kapcsolatos meggondolások**

(A svéd kísérleti építés időpontjához képest ma gyorsabb cementek, s így rövidebb időtartamok lehetnek. A svéd éghajlati körülmények mások lévén ott inkább a nyári építés, a lemart aszfalt előmelegítése állt középpontban.)

Néhány szempont:

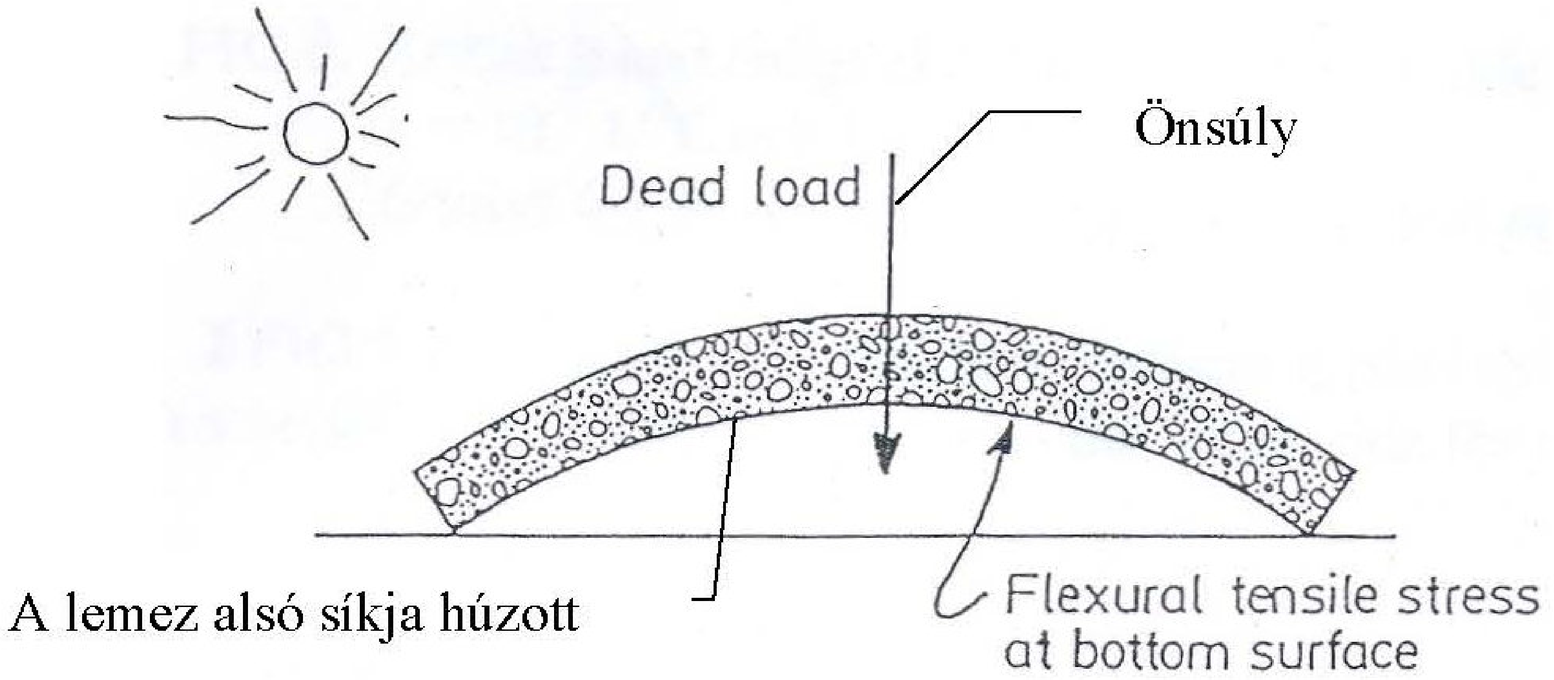
- *megfelelő frissbeton hőmérséklet*
- *a párazárás fokozása ismételt szórással*
- *a túl gyors szilárdulás okozta repedési kockázat csökkentése*
- ***a friss betonszőnyeg hőmérsékletének benntartása hőszigetelő réteggel***
- *gazdaságossági kérdés, hogy a műszakilag szükséges szőnyegvastagságot kissé megnövelik a gyorsabb szilárdulás érdekében (hőfejlődés, repedési kockázat)*

S1. ábra. *A hézagtávolság hatása:* inkább nyomás, mint hajlítás



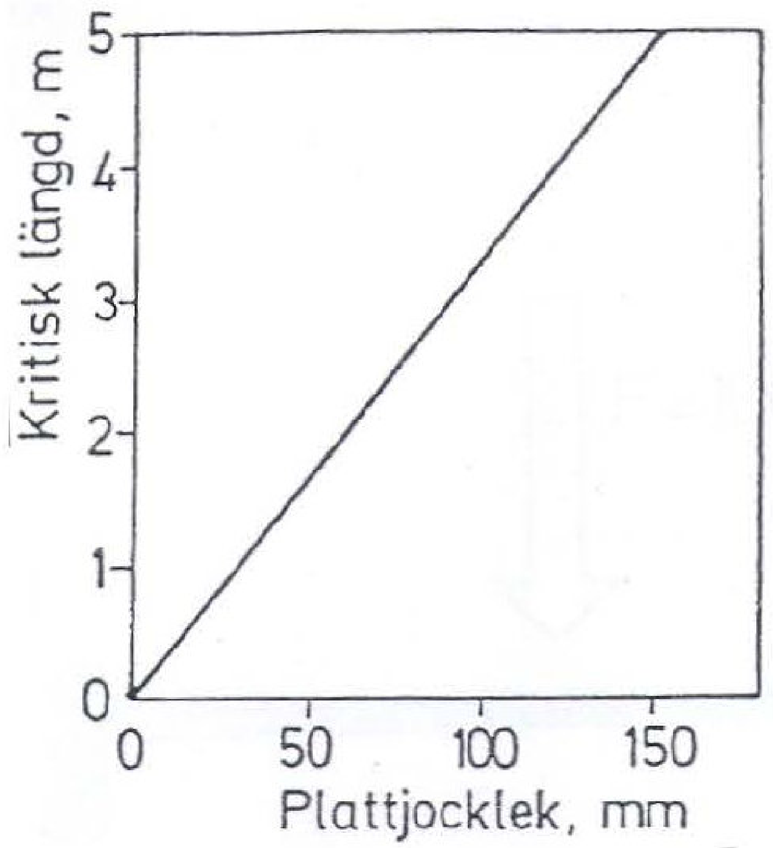
(vö: pontonhíd elemek)

S2. ábra *Vetemedés egyoldali fölmelegedésből*



S3. ábra. *A tábla méret kritikus hossza (L_{krit}) a hőmérsékleti feszültségek miatt, v_{beton} lemezvastagság függvényében*

$L_{krit.}$ (m)



v_{beton} (mm)

$L_{krit}=200 \cdot v \sqrt{\alpha \cdot \Delta t \cdot E}$

$\boldsymbol{L_{krit}=33 \cdot v}$ (mm)

ha:

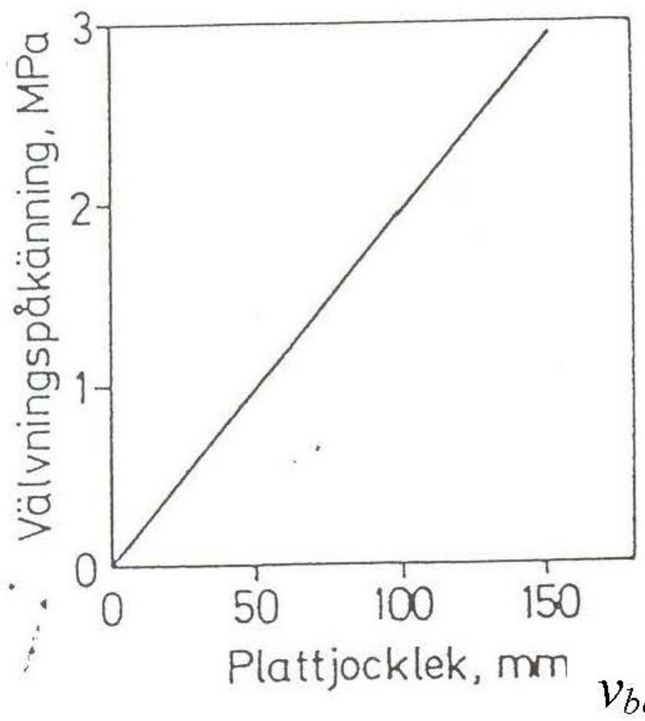
$\alpha=10 \cdot 10^{-6}/°C$ és

$E=30$ kN/mm^2 és

$\Delta t=0{,}09°C/mm$ (hőfok gradiens)

S4. ábra. *Vetemedési húzófeszültségek a lemezvastagság függvényében*

Húzófeszültség MPa



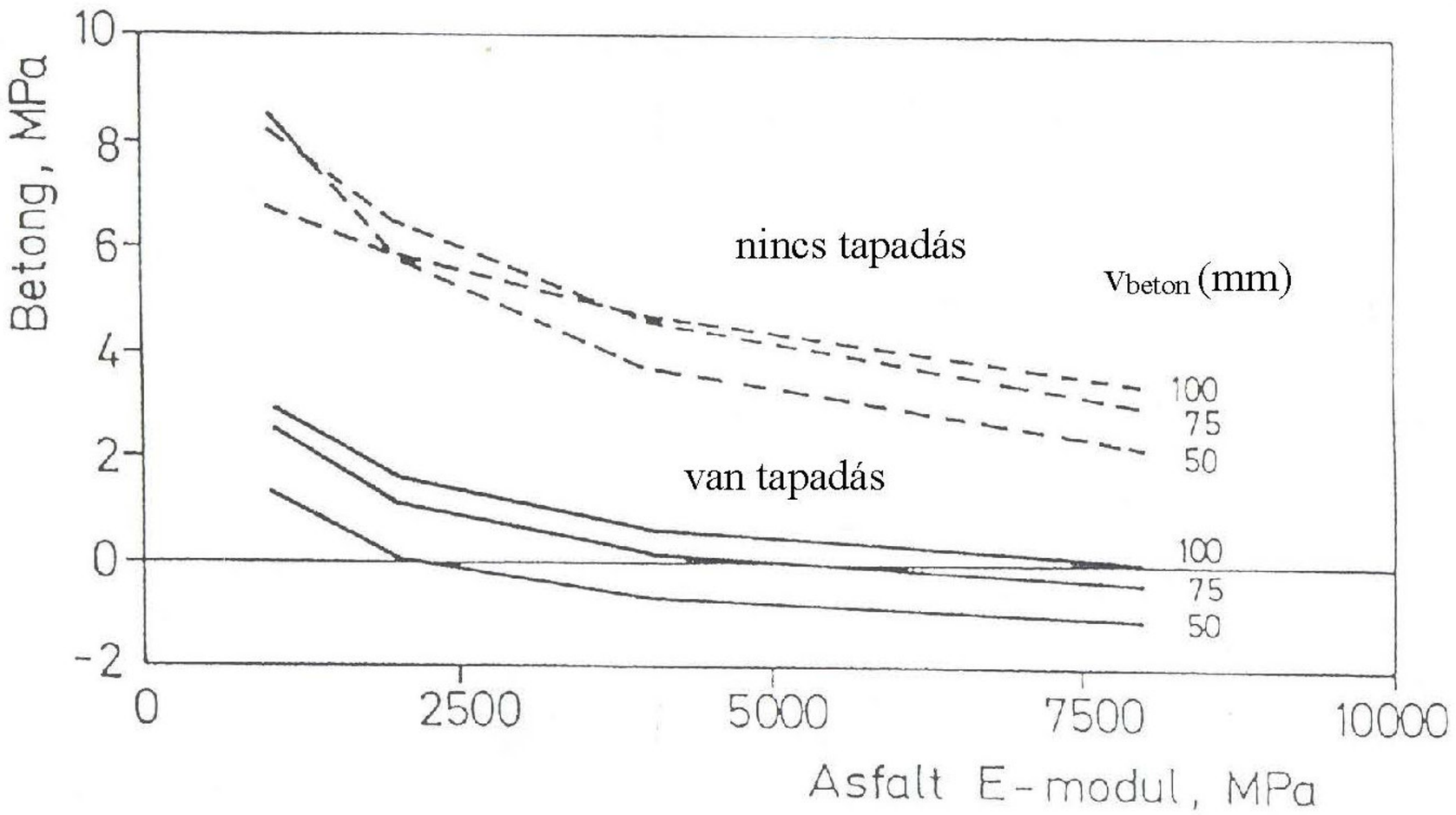
v_{beton} (mm)

Anyagállandók: lásd 3. ábra

FIG 9. Välvningspåkänningar enligt ekv. 3 för olika plattjocklekar. (Δt = 0,09 °C/mm, $\alpha = 10^{-5}$ 1/°C, E = 30000 MPa och μ = 0,17)
Warping stresses according to Eq. 3 for different pavement thicknesses.

S5. ábra. *A betonlemez alsó síkján keletkező hajlító-húzó feszültségek közlekedési terhekből együttdolgozó rétegekkel (van tapadás), illetőleg tapadás nélkül*

húzófeszültség (MPa)



aszfalt E modulusa (MPa)

FIG 4. Böjdragspänning i underkant av betongpågjutning.
Flexural stress in the underside of a concrete overlay.

S6. ábra. *Feszültségek az aszfaltban* **(a)**, *ill. a vékonybeton + aszfalt burkolatban és a réteghatár síkjában nem együtt dolgozó esetben* **(b)** *és együtt dolgozás (tapadás) esetén* **(c)**

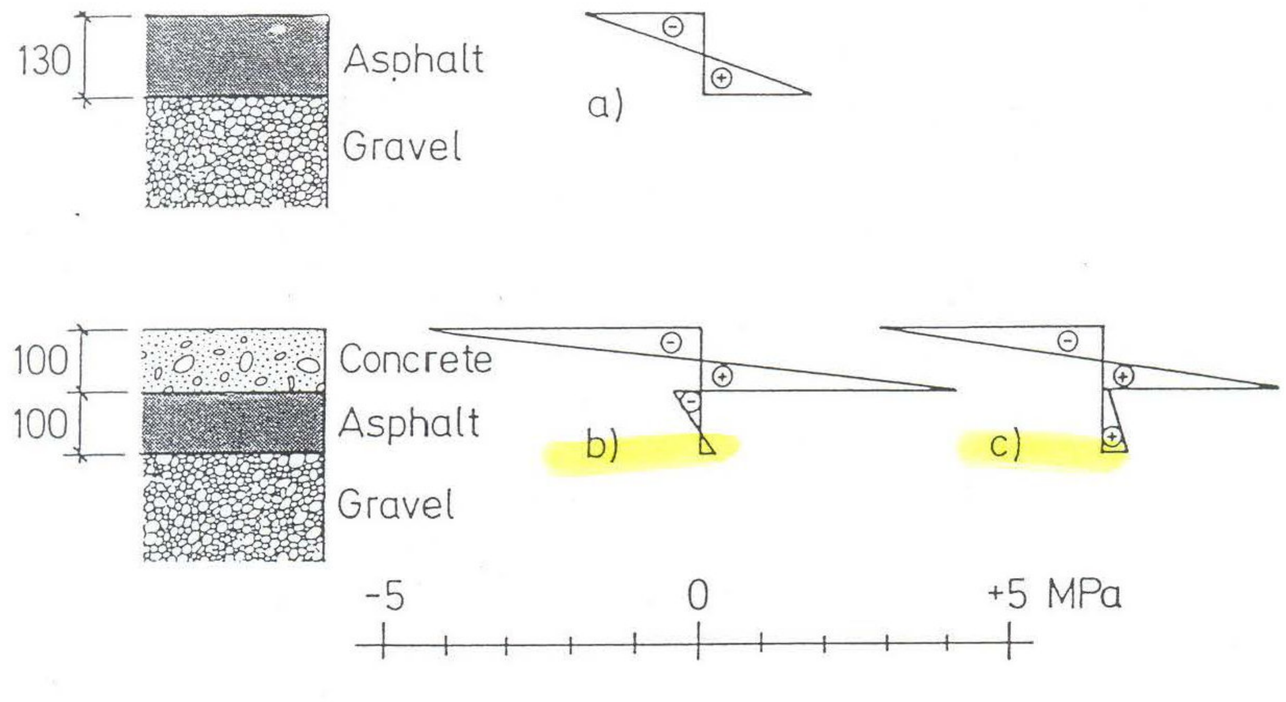


FIGURE 2.2. Traffic stresses for the unrepaired asphalt pavement (a), and for the repaired composite pavement without bond (b) and with bond (c) between concrete and asphalt, respectively.

Megjegyzés: a (b), tapadás nélküli esetben a lépték szerint kb. + 4 MPa; a (c) azaz együtt dolgozó esetben, kb. 2,8 MPa húzófeszültség keletkezik: **ez a csökkenés az együttdolgozós vékonybeton előnye.**

S7. ábra. *A betonban keletkező húzófeszültség és a mindenkori húzó szilárdság* ***aránya*** *a beton korának (nap) függvényében, 2 féle (50 és 100 mm) betonvastagságra, ill. csuklósan csatlakozó vagy szabadon elgördülő betontáblák esetén*

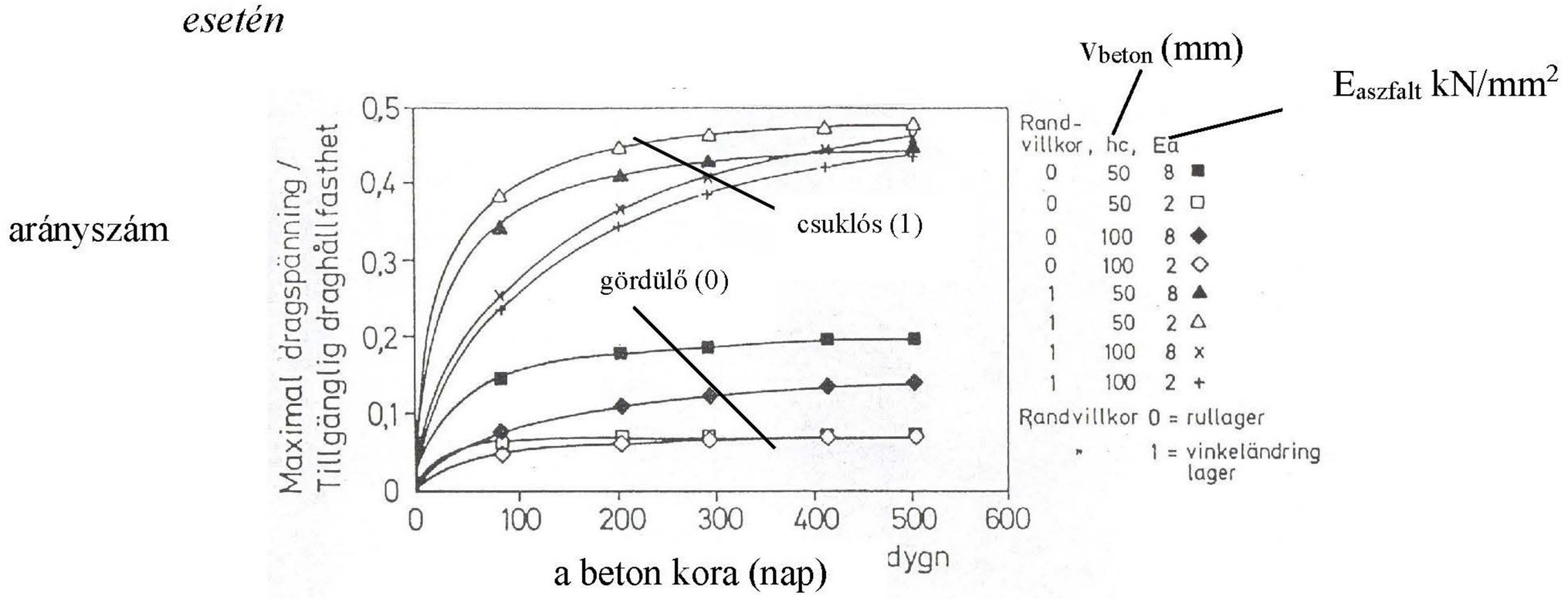


FIG 3. Förhållandet mellan maximal dragspänning i pågjutning och tillgänglig draghållfasthet.
The ratio between the maximum tensile stress in the overlay and the available tensile strength.

6. Japán tapasztalatok az extravékony (UTW) szőnyegezéssel (Yoshimoto, T - Tsukuda, Y-Nishizawa,T- Murata, Y – Kokobu, K; Japán Cementpari Szövetség; Tokiói Metropolitan Egyetem, Betonút Kongresszus)

Az UTW érzékeny része a régi aszfalt és az új betonszőnyeg közti *tapadás kifáradása*. Az előzőkhöz képest a japán *kísérletek* és 3 dimenziós véges elem, *számítások* igazolták, hogy a legjobb tapadást a lemart aszfaltfelület nagynyomású vízsugárral való tisztítása adja.

A legalább 10 évre garantált kifáradási tényező kockázatának 1,0-nél kisebbnek kell lennie: ez csak akkor teljesül, ha (keretezett esetek az alábbi táblázatban)

- az 1 napos hajlítószilárdság legalább 6 N/mm^2 és
- v_{beton}= 80 mm beton + 70 mm aszfaltvastagság esetén a hézagtávolság 1,8 m-nél lényegesen kisebb. A 100+50 és 80+70 mm-es UTW pályaszerkezet kifáradási kockázati tényezői a táblázat szerintiek

Vbeton (mm)	Vaszfalt (mm)	Hézagtáv. (m)	Hajlítószil.* (N/mm^2)	Fáradási kockázat
100 mm	50 mm	1,2	4,5	4,13
			6,0	0,51
		1,8	4,5	6,18
			6,0	0,67
		2,0	4,5	5,02
			6,0	0,58
80 mm	70 mm	1,2	4,5	3,30
			6,0	0,42
		1,8 (sok!)	4,5	12,67
			6,0	1,22

Rc = 60-80 N/mm^2 nyomószilárdság esetén ez teljesül!

Magyarul is olvasható további szakirodalmi összefoglalás:

- update 2005/4: Whitetopping – az aszfaltburkolatok szanálásának „fehér" alternatívája (https://www.cembeton.hu/userfiles/update/2005/update_2005_4.pdf)

- update 13/2 (2013): Fehérszőnyegezés (whitetopping) – gyors megoldás aszfaltutak nyomvályúira (https://www.cembeton.hu/userfiles/update/2013/update_201302.pdf)

- update 60 (2021): White-topping (betonszőnyegezés a régi aszfaaltpályán) – új kezdeményezések a méretezéshez és gyakorlati megvalósításuk (https://www.cembeton.hu/userfiles/update_60-202201-webre.pdf)

- Szegőné Kertész Éva – dr. Erdélyi Attila – Takács Enikő (Cemkut Kft.): Új technológiák az útjavításban: vékonybeton-szőnyegezés. Előadás a XXIV. Cementipari Konferencián. 2007. november 13.